


XVI ERIAC
DECIMOSEXTO ENCUENTRO
REGIONAL IBEROAMERICANO DE CIGRÉ

17 al 21 de mayo de 2015




A1-12

Comité de Estudio A1 - Máquinas Eléctricas Rotativas

# SIMULADOR VIRTUAL DE SINAIS DE DESCARGAS PARCIAIS

**P.R.M. VILHENA ***
**Eletronorte**
**Brasil**

**R.F. ZAMPOLO**
**UFPA**
**Brasil**

**A.J.C. SENA**
**UFPA**
**Brasil**

**F.S. BRASIL**
**Eletronorte**
**Brasil**

**V. DMITRIEV**
**UFPA**
**Brasil**

**R.M.S. OLIVEIRA**
**UFPA**
**Brasil**

***Resumo*** *- Este trabalho trata do desenvolvimento de um ambiente computacional para simulação de sinais de descargas parciais que são objetos de estudos em equipamentos de alta tensão, pois são indicativos da degradação da isolação elétrica destes equipamentos. O ambiente virtual possibilita a simulação de sinais de 60 Hz, de ruído e de descargas parciais e pode ser utilizado como ferramenta de estudos do comportamento destes sinais, onde podem ser simuladas diversas situações reais ou não. O simulador foi desenvolvido com a ferramenta de programação gráfica LabView e possui uma interface gráfica amigável, na qual podem ser visualizados os gráficos com os sinais de 60 Hz, de descargas parciais e de ruído. No simulador o usuário pode fazer o ajuste de diversos parâmetros como: frequência de amostragem, número de amostras, amplitude dos sinais, probabilidade de início e de duração de uma DP.*

*Com isso, o simulador virtual de sinais de descargas parciais foi desenvolvido para auxiliar o entendimento de engenheiros e pesquisadores da área de medição e processamento de sinais para avaliação da condição dielétrica de equipamentos como cabos, transformadores e estatores.*

***Palavras chave:*** *Descargas parciais, hidrogeradores, wavelet, LabView.*

## 1 INTRODUÇÃO

No modelo atual do setor elétrico, a manutenção preditiva tornou-se grande ferramenta para as concessionárias de energia elétrica na gestão dos seus ativos de produção, pois está cada vez mais difícil desligar um equipamento para realizar manutenção. As concessionárias devem arcar com energia elétrica disponível para atender às demandas da sociedade. Neste modelo, os desligamentos devem ser realizados de maneira programada, de forma a eliminar ou minimizar as perdas. A realização de manutenção preditiva, minimizando as preventivas, busca migrar da condição de manutenção baseada no tempo para a manutenção baseada nas condições do equipamento.

Paradas de máquinas não planejadas devido à falta de confiabilidade e falhas de equipamentos fizeram com que os mantenedores dessem um passo fundamental na estratégia de manutenção de geradores. A fim de solucionar esse problema, vários pesquisadores e estudiosos da área de grandes máquinas rotativas descobriram que estas falhas, na grande maioria das vezes, estavam relacionadas com o aumento do nível de descargas parciais (DPs) da isolação elétrica da máquina. A ocorrência das DPs nos sistemas isolantes dos equipamentos de alta tensão é um sintoma de fragilidade na sua suportabilidade dielétrica, cuja evolução pode vir a acarretar graves consequências para o equipamento.

Pelo exposto, justifica-se a necessidade de se estudar o fenômeno das DPs que ocorrem, por exemplo, nos enrolamentos do estator de máquinas rotativas que, na maioria das vezes, são sintomas de defeitos elétricos e antecipações de falhas, que são originadas por diversas causas.

* Contato: paulo.vilhena@eln.gov.br

## 2 DESCARGAS PARCIAIS

Descarga parcial é uma descarga elétrica localizada que curto-circuita parcialmente um material isolante separando dois condutores e que pode estar adjacente ou não a um dos condutores [1,2].

Descargas parciais são pequenas faíscas elétricas resultantes da fadiga elétrica de um gás (por exemplo ar) contida no interior de uma cavidade ou de um campo elétrico elevado não-uniforme. Se a cavidade for dentro de um sólido orgânico ou líquido, a DP irá degradar o material orgânico e pode eventualmente causar a falha do isolamento elétrico [3].

As DPs ocorrem em regiões definidas e não chegam a completar um circuito fechado (curto-circuito). São também consideradas rápidas pelo fato de ocorrerem em períodos curtíssimos de tempo, faixa de nano segundos, ao comparar-se com o período da tensão de teste (1/60 segundos). A Figura 1 apresenta um típico pulso de descargas parciais.

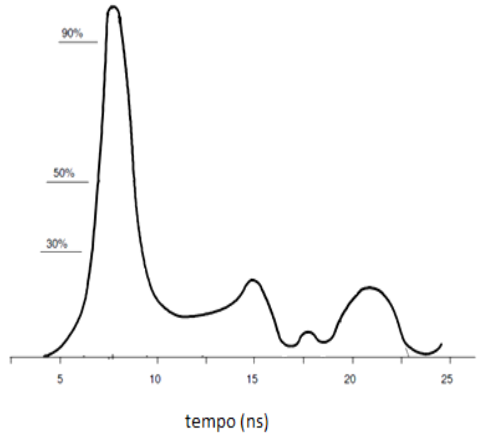



Fig. 1 – Exemplo de um pulso de descargas parciais [4].

Segundo [5] a análise de associação da fase das descargas parciais atualmente é considerada umas das metodologias mais eficientes para a identificação das fontes de DPs e foi incorporada aos mais modernos instrumentos de medição de DPs.

Na análise de associação da fase inicialmente supõe-se que a tensão de ensaio ou sistema é constante e os ângulos de fase desta onda são discretizados em faixas. O instrumento de medição de DPs mede a amplitudes da carga aparente ($q$), relacionadas ao ângulo de fase ($\varphi_i$) da tensão de ensaio ou do sistema durante certo intervalo de tempo. Durante esse intervalo, os valores das amplitudes são acumulados e podem ser expressos pela razão da taxa de ocorrência ($n$), esses dados de DPs são classificados como mapas estatísticos das DPs. A Figura 2 apresenta um típico padrão de descargas de ranhura em hidrogeradores.

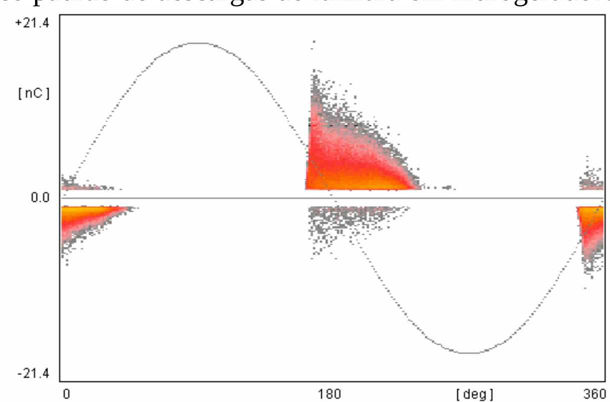



Fig. **¡Error! No hay texto con el estilo especificado en el documento.** – Descargas Parciais em Hidrogeradores [6]

Dados de descargas parciais tal como acontece com a maioria dos sistemas de medição de DP, o número, a magnitude e a posição de fase com relação ao ciclo de 50 ou 60 Hz de corrente alternada são registrados, uma vez que os pulsos de DP são separados dos pulsos de ruído. A Fig. 3 mostra um gráfico típico de DP a

partir de uma fase de um enrolamento do estator do motor. A magnitude do pulso é medida em termos absolutos, unidades de milivolts (mV) [7], [8].

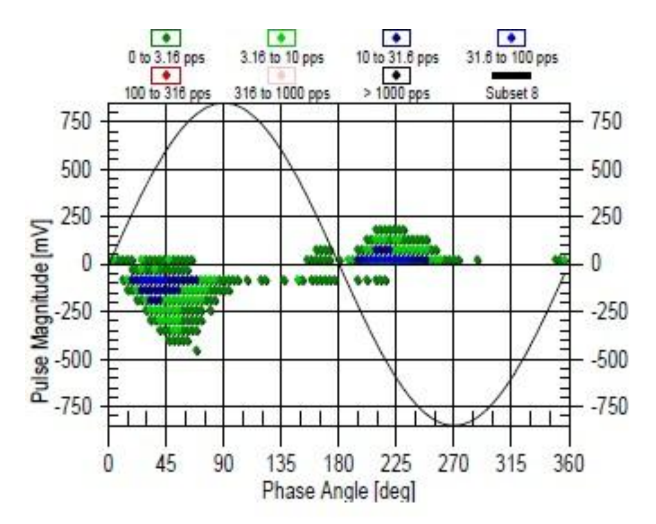



Fig. 3 – Gráfico típico de DP [7]

## 3 SIMULADOR DE DESCARGAS PARCIAIS

A implementação do simulador decorreu da necessidade de se ter exemplos de sinais, que mesmo não sendo muito representativos de DPs reais, permitissem testar algumas técnicas simples de identificação de pico. Tal identificação, passa pela determinação dos pontos inicial e final de uma DP, estabelecendo assim uma janela temporal para busca dos valores de pico da DP. Por sua vez, esses valores de pico são fundamentais para se traçar os gráficos conhecidos como PMA (do inglês, pulse magnitude analysis) e PPA (do inglês, pulse phase analysis), ambos usados para caracterizar o estado de equipamentos de alta tensão [1,2].

Para simulação de identificação de início e fim de DP, bem como localizar e determinar seu pico, considerou-se que o sinal recebido do simulador foi devidamente filtrado para eliminação do ruído e da onda de 60 Hz. Portanto, a única componente de análise é o sinal contendo as DPs. As informações de fase da onda de 60 Hz associadas ao pico das DPs são assumidas e conhecidas. A Fig. 4 apresenta um sinal contendo várias DP ocorridas num determinado intervalo de tempo.

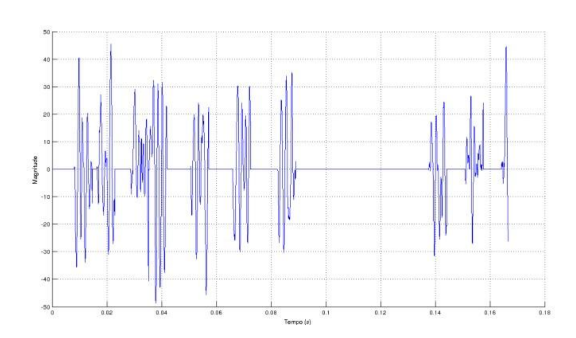


Fig. 4 - Sinal contendo as DPs a serem analisadas.

A identificação do pico de uma DP é feita à medida que as amostras do sinal são obtidas, ou seja, a identificação é feita amosta-a-amostra. Para se fazer essa identificação, é necessária uma estratégia para verificar a ocorrência ou não de uma DP. Essa verificação é feita estabelecendo-se um valor limiar, que define uma faixa de não ocorrência de DP. Uma DP ocorre quando o valor da amostra atual é maior em módulo que valor do limiar, ou seja, quando o valor da amostra está fora da faixa de não ocorrência de DPs. Na Fig. 5, a linha pontilhada vermelha apresenta um limiar de 2 unidades de magnitude em módulo , ou seja, a faixa de não ocorrência de DPs está entre -2 e 2 unidades de magnitude que pode ser configurável de acordo com a medição.

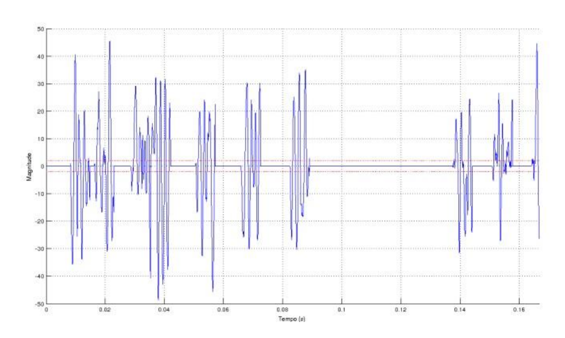


Figura 5 - Faixa de não ocorrência de DP.

A Fig. 6 apresenta o resultado da estratégia de identificação de início, fim e pico de uma DP. Os resultados encontrados mostram que a abordagem utilizada consegue identificar, como proposto, o início, o fim e o pico das DPs. Contudo, alguns erros podem ocorrer na identificação de DP que estejam muito próximas umas das outras. Os valores do limiar e do tempo mínimo para identificação do fim de DP precisam ser definidos de acordo com as características do sinal de DP e dos equipamentos utilizados para geração das amostras.

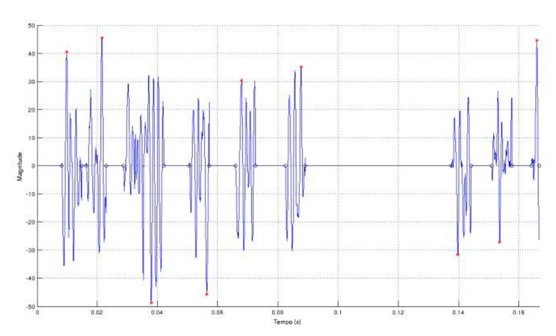


Figura 6 - Valores de início, fim e pico de DP.

## 4 SIMULADOR VIRTUAL DE SINAIS DE DESCARGAS PARCIAIS

O desenvolvimento do simulador virtual decorreu da necessidade de se ter exemplos de sinais, que mesmo não sendo muito representativos de descargas parciais reais, permitissem testar algumas técnicas simples de identificação de picos de descargas e filtragem de ruído. Tal identificação, passa pela determinação dos pontos início e término de uma DP (descarga parcial), estabelecendo assim uma janela temporal para busca dos valores de pico da DP. Por sua vez, esses valores de pico são fundamentais para se traçar os gráficos conhecidos como PMA (do inglês, pulse magnitude analysis) e PPA (do inglês, pulse phase analysis), ambos usados para caracterizar o estado de equipamentos de alta tensão.

Esta ferramenta computacional foi desenvolvida para auxiliar o entendimento de engenheiros e pesquisadores da área de medição e processamento de sinais na área de avaliação da condição dielétrica de equipamentos como cabos, transformadores e estatores.

O simulador virtual foi desenvolvido em LabView (ferramenta de programação gráfica) [9] e conta com a interface principal, na qual podem ser visualizados o sinal senoidal de 60 Hz, o sinal de descarga parcial e o sinal de ruído somados e exibidos em um único gráfico (ver Fig. 7).

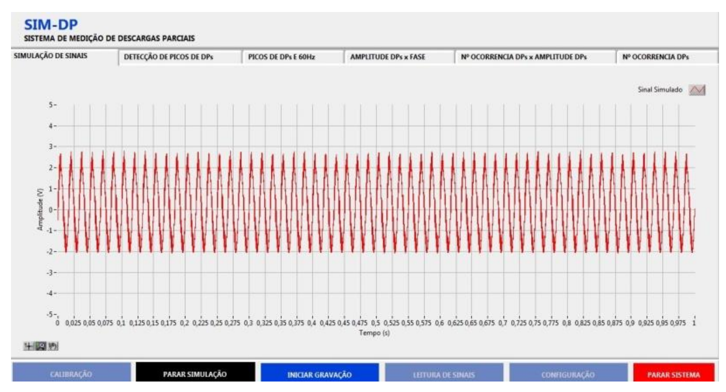



Figura 7 – Interface principal do simulador virtual.

Em relação à simulação do sinal senoidal de 60 Hz, o usuário pode fazer o ajuste dos parâmetros: frequência de amostragem, número de amostras e amplitude do sinal.

A simulação do sinal de ruído foi feita utilizando uma função já existente no LabView denominada Gaussian White Noise. O usuário tem a possibilidade de definir o valor da variância desse ruído.

O sinal de descarga parcial gerado pelo simulador pode ter suas características modificadas de acordo com os valores atribuídos pelo usuário para os parâmetros: Início DP e Duração DP. O parâmetro Início DP determina a probabilidade de ocorrência das descargas parciais em tempo de simulação. Por sua vez, o parâmetro duração DP define o comprimento de cada descarga parcial segundo uma determinada distribuição de probabilidade. As descargas parciais correspondem à resposta de um filtro linear a uma entrada aleatória. Nesse caso, pode-se também alterar os coeficientes do referido filtro para que as descargas parciais obedeçam a modelos mais ou menos realísticos.

Na interface da Fig. 8 é feita a análise de descargas parciais para determinação dos valores de início, fim e pico de DP.

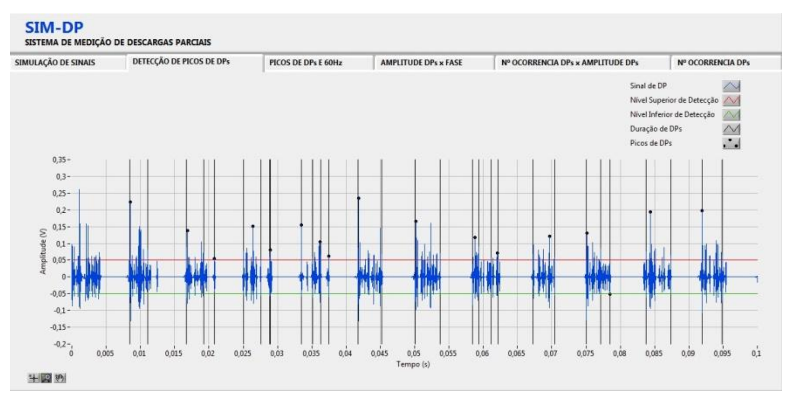



Figura 8 – Detecção de picos de DPs.

A Fig. 9 exibe o sinal de 60 Hz e ao mesmo tempo os picos de descargas parciais que foram detectados dos vários ciclos do sinal de 60 Hz.

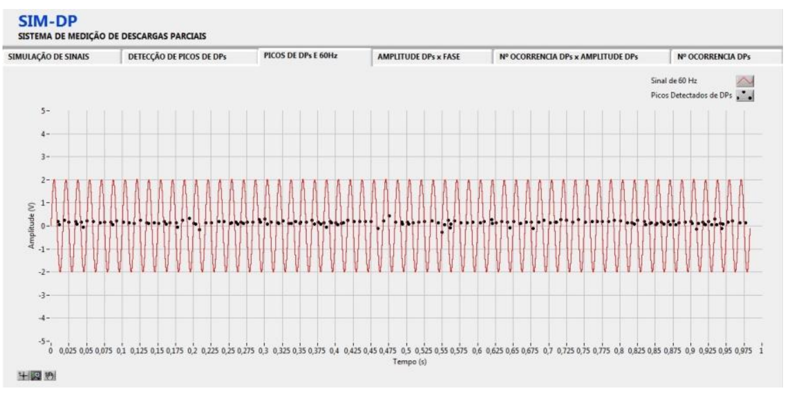



Figura 9 – Picos de DPs detectados e 60Hz.

A Fig. 10 todos os picos das descargas parciais que foram detectados são mostrados em um único ciclo do sinal de 60 Hz e em que fase do ciclo estes picos ocorreram.

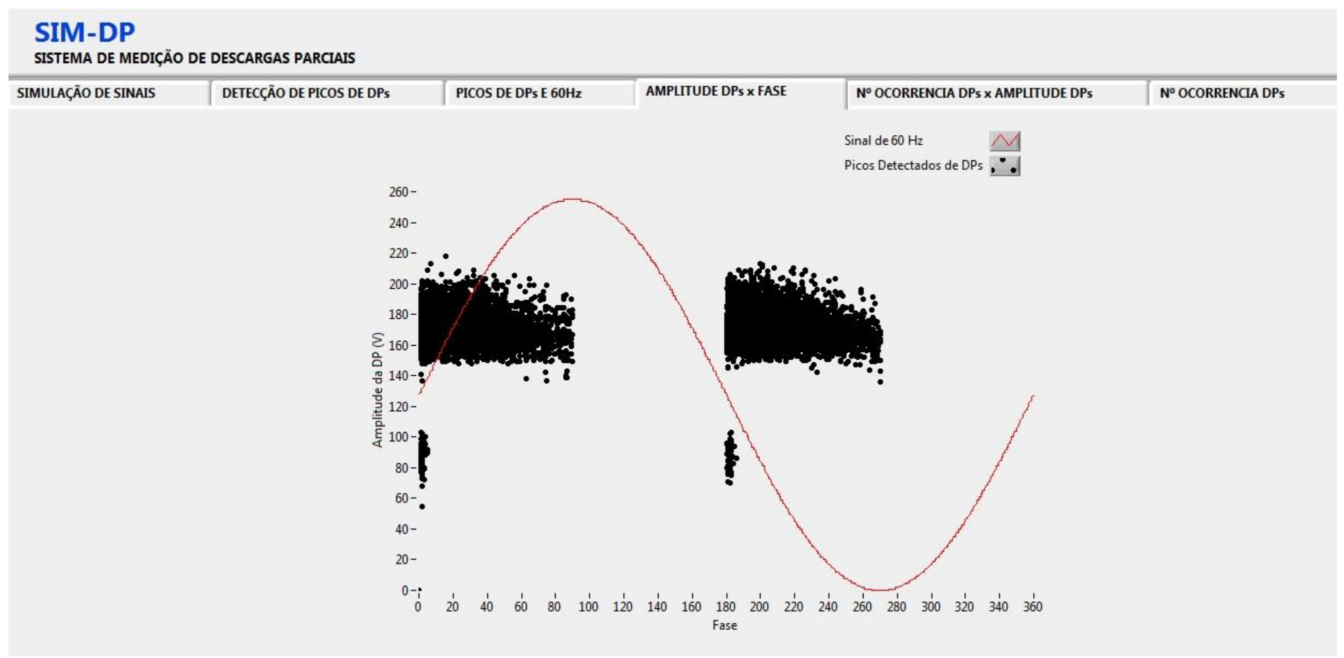



Fig. 10 – Amplitude DPs x Fase.

A Fig. 11 exibe o gráfico do número de ocorrências versus a amplitude das DPs, ou seja, é possível visualizar o número de ocorrências de um determinado nível de amplitude de descarga parcial.

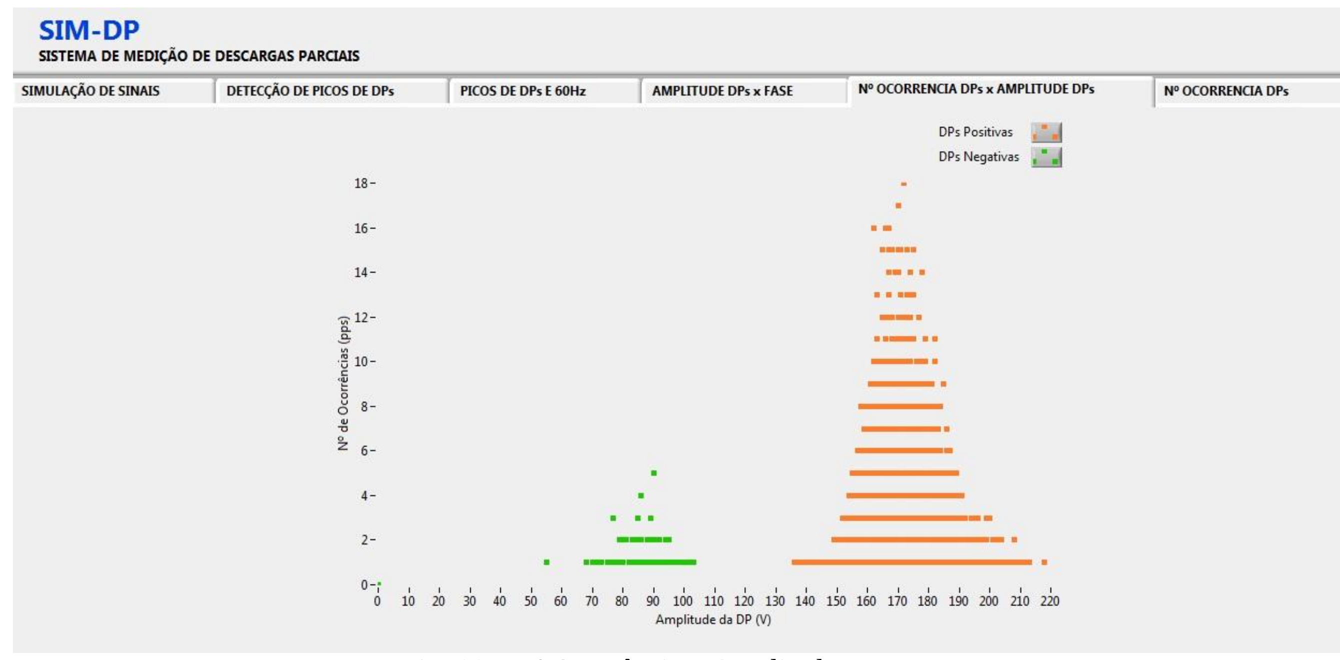
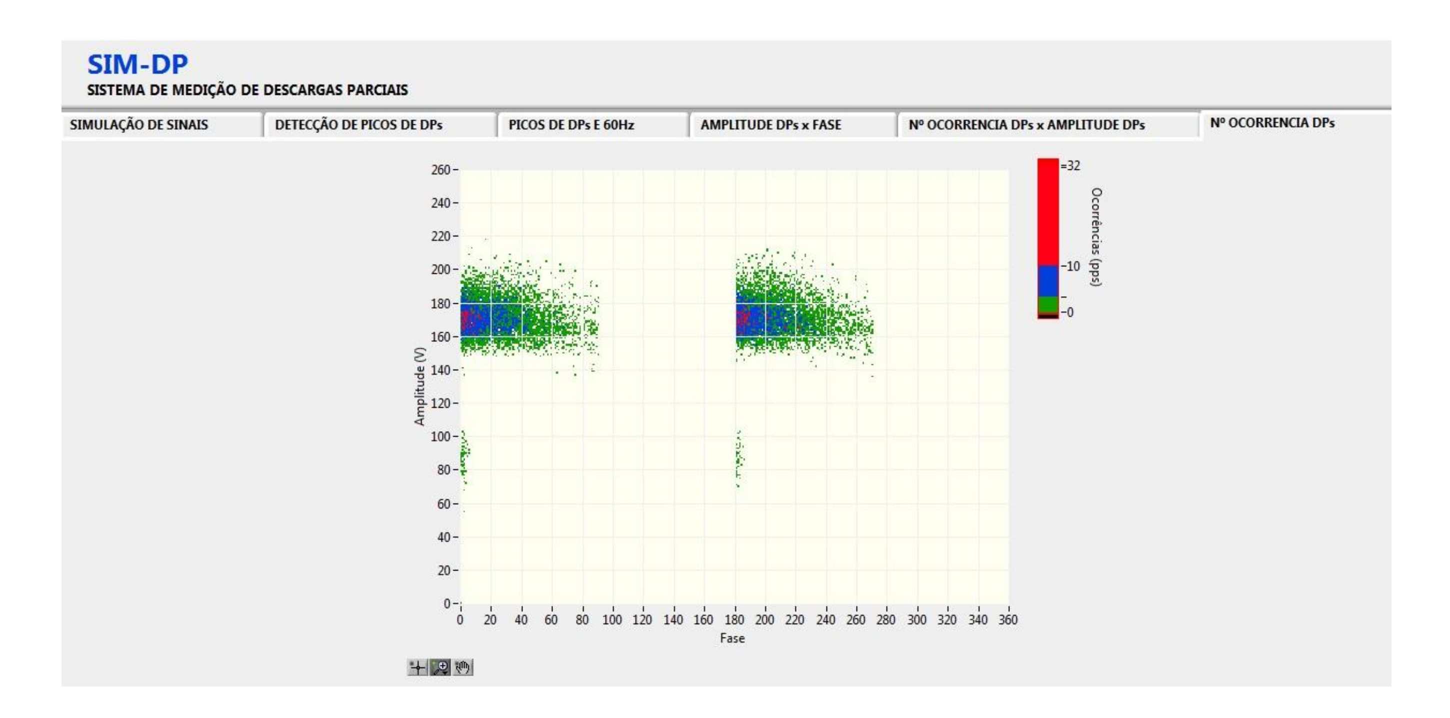



Fig. 11 – Nº Ocorrência x Amplitude DPs.

A Fig. 12 exibe o mapa de distribuição das descargas parciais por fase e a intensidade com a qual estas descargas ocorreram em uma determinada amplitude e fase.




A Fig. 13 exibe a configuração do sistema. Através da mesma o usuário pode definir os valores de diversos parâmetros que regem o funcionamento do simulador.

A Fig. 14 exibe a interface de calibração do sistema. Através da mesma o usuário pode definir manualmente as sub-bandas wavelet de frequência que serão utilizadas para obter os sinais de descargas parciais ou permitir que o sistema selecione automáticamente as sub-bandas.

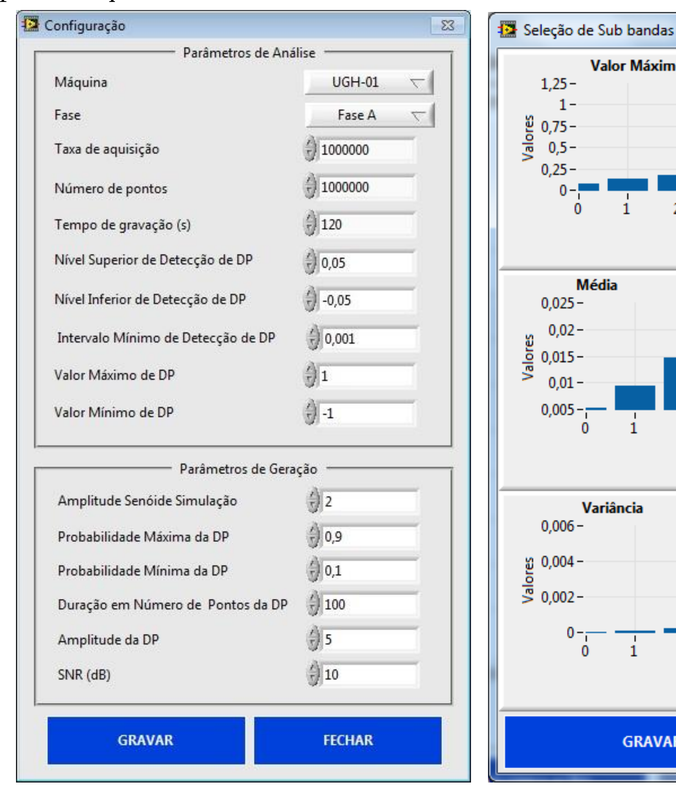



Fig. 13 – Configuração.

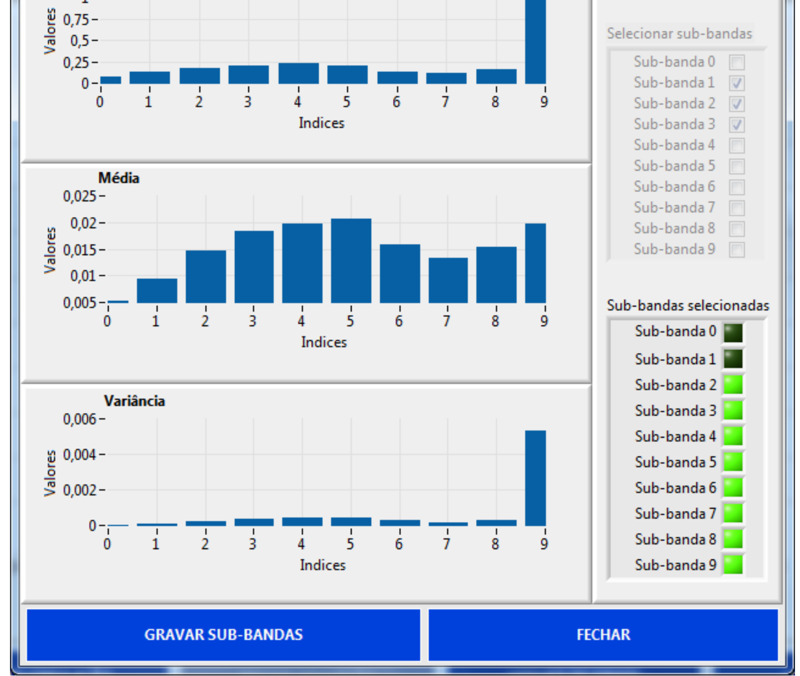



Fig. 14 – Calibração do sistema.

## 5 CONCLUSÃO

Foram apresentados os principais resultados obtidos em relação ao sistema de medição de DPs. Especificamente, implementação em LabView de estratégias de detecção e localização do pico de descargas parciais, geração em LabView de gráfico do tipo PPA (do inglês, pulse phase analysis) e implementação de técnicas de eliminação faixas específicas. As interfaces do simulador de sinais de descargas parciais foram apresentadas e descritas de forma sucinta.

## 6 REFERÊNCIAS


[1] INTERNACIONAL ELETROTECHNICAL COMMISSION, "IEC 600270 – High Voltage Test Techniques – Partial Discharges Measurementes, Suiça, 2000.

[2] INTERNACIONAL ELETROTECHNICAL COMMISSION, "IEC 60034-27-2 Rotating Electrical Machines – Part 27-2: On-line Partial Discharges Measurements on the Stator Winding Insulation of Rotating Electrical Machines". Suíça, 2012.

[3] STONE, G. C. Partial Discharge Diagnostics and Electrical Equipment Insulation Condition Assessment. IEEE Transaction on Dielectric and Electrical Insulation, vol. 12, no. 5, pp. 891-903, 2005.

[4] BARTINIKAS, R., "Corona Discharges Processes in Voids". In: BARTINIKAS, R., MACMAHON, E.J., Engineering Dielectrics: Corona Measurement and Interpretation Vol. I, Chapter 2, Philadelphia, ASTM, 1979, pp. 22-67.

[5] HUDON, C., BÉLEC, M., "Partial Discharges Signal Interpretation for Generator Diagnostics", IEEE Transaction on Dielectrics and Electrical Insulation, vol. 12, No. 2, 2005, pp. 297-319.

[6] GROSS, D. W. Partial Discharge Diagnosis of Motor Defects. Power Diagnostix Systems GmbH Aachen, Germany. Nordic Insulation Symposium Tampere, June 11-13, 2003.

[7] STONE, G.; WARREN, V. Differences in Stator Winding Partial Discharge Activity Between Manufacturers. Iris Power Engineering, 1 Westside Drive, Unit 2 Toronto, Ontario, Canada M9C 1B2, 2005.

[8] BELEC, M. HUDON, C.; NGUYEN D. Statistical analysis of partial discharge data, Conference Record of the IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 2006.

[9] R. JAMAL AND H. PICHLIK, LabVIEW - applications and solutions, National Instruments. Estados Unidos.


.